



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA

**Efeito da temperatura em diferentes aspectos da fotossíntese de**

***Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta)**

**PAOLA FRANZAN SANCHES**

Paola Franzan Sanches

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antunes Horta

Trabalho de Conclusão de Curso  
Exigido, como pré-requisito, para  
Obtenção do grau em  
Bacharelado no Curso de  
Ciências Biológicas pela  
Universidade Federal de Santa Catarina

**Efeito da temperatura em diferentes aspectos da fotossíntese de**  
***Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta**

Florianópolis

2010

## **Agradecimentos**

Começo meus agradecimentos por Aquele em quem eu confio cegamente e sei que nunca irá me faltar, por seu amor. Ao meu Deus, aqui demonstro o meu amor e gratidão.

Agradeço à minha mãe Regina, meu pai Paulo e ao meu irmão Arthur, que com palavras doces souberam acalmar meu coração e diminuir minhas ansiedades, que não foram poucas! Que sempre fizeram de tudo para que eu tivesse todas as oportunidades desse mundo e que com risadas e piadas, sempre me apoiaram nas decisões que tomei, por mais que eu saiba o quanto foi difícil me ver sair de casa. À minha vózinha que tanta saudade deixou. À minha família, meu amor eterno.

Agradeço ao meu orientador, professor e amigo, Paulo, que sempre de bom humor e imaginação soube compartilhar as mais loucas idéias certas e seu amor pelas algas, pela biologia e pela vida. Aos amigos de laboratório Ju, Nando, Mari, Marina, Debu, Cintia, No, Cintia, Manu, Dudu, Talita, Caio, Carol e João. E ao extralab Pablo, pelas conversas estatísticas e o laboratório do prof. Pio, pela ajuda e apoio.

Agradeço à família que eu escolhi e que se colocou ao meu lado no mais diversos momentos da minha jornada: membros da Casa de Pau/Moluscolândia: Dé, pelos seus “bom dia” nada convencionais, Elis, pela cantoria e taças de vinho, Carol pela parceria sem igual e por compartilhar das idéias mais erradas que tenho, Flavinha, pelas filosofias de vida e sorrisos, Kika, Gabi e Luli pelo apoio, verdades e visitas. Parceria igual não há!!

Agradeço aos meus amigos todos da Biologia, em especial à turma 062, que foi a melhor turma que já existiu! A cada membro, por cada peculiaridade: Dé, Marietou, Bar, PV, Bob, Xitao, Mari, Marina, Concha, Dessa, Bruna, Ju, Mick, Fidel, Anna e Pedro. Ao meu mano Tiri, ao Ale B. Basso, ao Ale Minas e ao Cello, aos de movimento estudantil, CA e aos de Interbios: Eudes, Bocão, Cumpadi e em especial ao Chico, gligli querido que me acompanhou online

durante toda a síntese do TCC e no show do Paul. Aos de Sampa: Victor, Drika e Rebecca.

Agradeço por fim aos mestres que tive durante o meu caminho na universidade, em especial ao prof. Carlos Zanetti, que mais que imunologia, me mostrou uma nova forma de ver a vida!

## **Considerações Iniciais**

Parte do trabalho foi desenvolvido no laboratório do Prof. Dr. Pio Colepicolo, no Instituto de Química, da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo. Agradeço especialmente pelo treinamento e parceria.

O presente trabalho foi apresentado de forma oral no Workshop de Mudanças Climáticas da UFSC, no mesmo ano e teve seus resultados parciais discutidos, como forma de pôster no Encontro de Bioativos de Algas, em Ilhabela, em 2009.

Em anexo os resumos apresentados nos encontros.

## SUMÁRIO

Lista de Tabelas .....	7
Lista de Figuras .....	8
Lista de Abreviações.....	9
Resumo .....	10
1. Introdução	
1.1. As algas calcárias.....	12
1.2. As mudanças climáticas globais.....	14
1.3. Fisiologia da fotossíntese.....	18
2. Objetivos	
2.1. Objetivo Geral.....	21
2.2. Objetivos Específicos .....	21
3. Material e Métodos	
3.1. Caracterização da espécie <i>Lithothamnion superpositum</i> .....	22
3.2. Coleta e aclimação.....	26
3.3. Fluorescência da clorofila.....	27
3.4. Pigmentos.....	28
3.5. Produção de Oxigênio e pH.....	28
3.6. Análises Estatísticas.....	30
4. Resultados.....	30
5. Discussão .....	36
6. Considerações Finais .....	38
7. Conclusões.....	40
8. Referências.....	40
ANEXOS.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentração ( $\mu\text{g/ml}$ ) dos pigmentos de *Lithothamnion superpositum* ao final do experimento. X: Médias entre as amostras; E: Erro Padrão para as médias. AFC: Alococianina FC: Ficocianina; FE: Ficoeritrina; Ch: Clorofila (ANOVA mostra diferenças significativas entre as concentrações de pigmentos e temperaturas). A presença de \* significa que houve diferenças significantes baseadas no teste a posteriori de Tukey. ....32

## LISTA DE FIGURAS

Figura1: Rodolitos de algas calcárias encontrados no Banco da Enseada do Rancho Norte, REBIO Arvoredo, em Junho de 2010. Foto própria.....	11
Figura 2: Esquema simplificado do processo fotossintético. Manual de instruções. Qubit System (Canadá).....	19
Figura 3: Nódulo de <i>Lithothamnion superpositum</i> (Corallinales, Rhodophyta), do Banco de rodolitos da REBIO Arvoredo, em Junho de 2010. Foto própria.....	21
Figura 4: Enseada do Rancho Norte, Ilha do Arvoredo, REBIO do Arvoredo. Vista do barco em Junho de 2010. Foto própria.....	24
Figura 5: Mapa da Reserva Marinha do Arvoredo. Em detalhe a Enseada do Rancho Norte, na Ilha do Arvoredo. Adaptado de Gherardi (2004).....	25
Figura 6: 6: Vista geral do banco de Rodolitos da Enseada do Rancho Norte, Ilha do Arvoredo, REBIO do Arvoredo. Foto de Pascelli (2009).....	26
Figura 7: Esquema representativo do cálculo do consumo de CO <sub>2</sub> , pela variação do pH do meio. Quadrados cinzas representam recipientes no escuro.....	29
Figura 8: curvas de rETR para Densidade de Fluxo de Fótons fornecido em PAR ( $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), para temperaturas testadas, ao decorrer do experimento (médias e erros, =5).....	31
Figura 9: Gráfico de Pmax, $\alpha$ , $\beta$ and Ik, para cada temperatura, durante o experimento (onde diferentes letras representam diferenças significativas baseado no teste a posteriori de Tukey).....	33
Figura 10: Variação de O <sub>2</sub> (mg/L) na água durante o experimento, para cada temperatura. Médias e Erros padrões para os recipientes contendo algas ( <i>Lithothamnion</i> ) (ANOVA F= 6,9502 p = 0.04157) e média e erros para o controle (ANOVA F=2,3140 p=0,12052). Letras diferentes representam diferenças significativas baseadas no teste a posteriori de Tukey.....	35
Figura 11: Fig. 11: Variação de pH na água durante o experimento, para cada temperatura. Médias e Erros padrões para os recipientes contendo algas ( <i>Lithothamnion</i> ) (ANOVA F= 9,10912 p = 0.000278) e média e erros para o controle (ANOVA F=1,04667 p=0,355984). Letras diferentes representam diferenças significativas baseadas no teste a posteriori de Tukey.....	35



## LISTA DE ABREVIATÖES

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

PSII: Fotossistema II

rETR: relative Eletron Transportation Rate – taxa relativa de transporte de eletrons

$\alpha$ ETR: eficiência fotossintética

Pmax: fotossíntee máxima

I<sub>k</sub>: parâmetro de saturação

$\beta$ ETR: fotoinibição

AFC: Aloficocianina

FC: Ficocianina

FE: Ficoeritrina

Ch: Clorofila

## RESUMO

### **Efeito da temperatura em diferentes aspectos da fotossíntese de *Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta)**

As mudanças climáticas globais provocarão consequências físicas e químicas no ambiente marinho. Dentre elas, possíveis variações na temperatura promovem alterações fisiológicas alterando o comportamento respiratório e fotossintético e, assim as taxas de crescimento de organismos fitobênticos, especialmente. Dentre estes organismos, algas calcárias têm grande importância ecológica, com fornecimento de nicho e substrato para outras algas e invertebrados. Nesse grupo os efeitos de alterações da temperatura da água do mar são potencialmente ainda mais preocupantes, pois além de serem organismos chaves para o ambiente marinho, estão intimamente relacionadas ao ciclo do carbono. O presente trabalho verificou mudanças na resposta fotossintética de *Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta) relacionadas à variação de temperatura. Assim, espécimes trazidos da Rebio do Arvoredo (22° C) foram incubados por 24h, a 15°C, 20°C, 25°C e 30°C. Por sete dias consecutivos as taxas de transferência de elétrons (ETR) e a fluorescência da Clorofila *a* do Fotossistema II foram aferidos com o fluorímetro DIVING-PAM. Também foram observados o balanço de oxigênio dissolvido e pH mantendo as plantas e controles no claro e escuro. Após esse tempo, foram extraídos os pigmentos (Aloficocianina, Ficocianina, Ficoeritrina e Clorofila). Os resultados evidenciam que as plantas mantidas a 20, 25 e 35°C, tiveram pouca diferença em relação à  $P_{máx}$ ,  $I_k$  e à  $\beta$ . Em relação à  $\alpha$  não houve diferença significativa entre elas. Maiores concentrações de pigmentos foram encontradas nas plantas mantidas a 25°C. Pode-se sugerir, portanto, que as melhores temperaturas para as algas dessa espécie são as mais altas, encontradas nas regiões tropicais.

Palavras- chave: mudanças de temperatura, fotossíntese, *Lithothamnion*, rodolitos, mudanças globais

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. As Algas calcárias

As algas calcárias (Corallinales, Rhodophyta) são um grupo de organismos de grande importância ecológica em ambientes marinhos. Essenciais para a formação de recifes de corais (Björk *et al.*, 1995) elas ainda servem como substrato para outras plantas e algas, micro-habitats e nichos para invertebrados (Basso, 1996; Barbera, 2003; Steller *et al.*, 2003).

Com mais de 1000 espécies descritas (Woelkerling, 1988; Horta, 2002), elas estão distribuídas dos trópicos às regiões polares (Littler, 1972; Johansen, 1981; Steneck, 1986; Roberts *et al.*, 2002), da região de entre-marés até mais de 200 metros de profundidade (Littler *et al.*, 1985).

Outra característica do grupo está na capacidade de desenvolver formas livres do substrato. Chamado de rodolito, nódulo ou mærl (Woelkerling, 1988; Foster, 2001; Harvey & Woelkerling, 2007), essa forma de vida pode representar tanto uma única espécie de alga, como também associação de espécies (Foster, 2001) (Fig. 1). Ainda podem ter diferentes formas, tamanhos e se depositar por vastas áreas, em diferentes densidades (Siesser, 1972). A abundância, o tamanho, a forma e a composição das espécies podem variar de acordo com o espaço e o tempo (Foster, 2001).

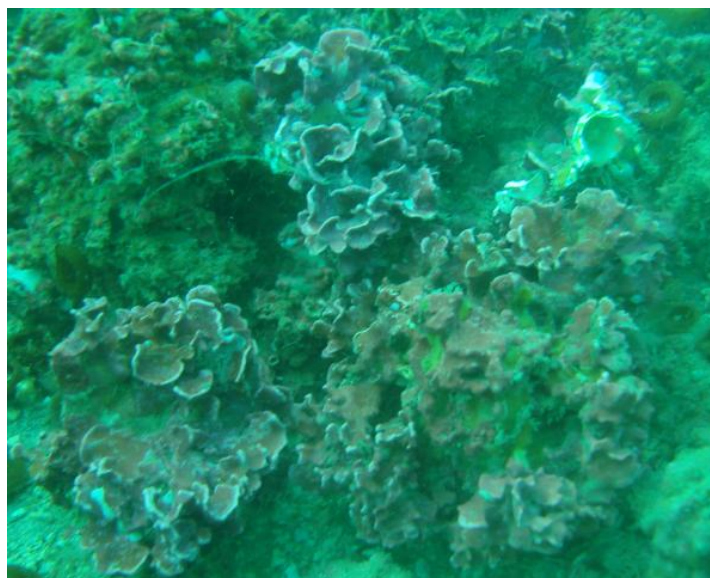


Fig.1: Rodolitos de algas calcárias encontrados no Banco da Enseada do Rancho Norte, REBIO Arvoredo, em Junho de 2010. Foto própria.

Por serem fotossintetizantes, essas algas provêm energia para o sistema bêntico, a partir da produção primária. Mas seu papel no ciclo do carbono não se limita ao que é transformado fotoquimicamente. Por fixarem Carbonato de Cálcio em suas paredes celulares (sendo compostas em mais de 90% por  $\text{CaCO}_3$ ) (Foster, 2001), os bancos calcários são o maior ambiente deposicional de carbono na forma de carbonato do mundo (Testa & Bosence, 1999).

Por conta dessa disponibilidade de acumulação de  $\text{CaCO}_3$ , esses bancos vêm sofrendo com a exploração de Indústrias visando a produção de insumos para a agropecuária (como corretivo de solo), indústria farmacêutica (remédios anti-ácidos, antirreumáticos e cosméticos) e de construção (<http://www.turfa.com.br/lithothamnium.html> , consultado dia 23/09/2010).

Visto que sua taxa metabólica e seu crescimento são muito baixos (cerca de 1mm ao ano) (Blake & Maggs, 2003), tal exploração é insustentável. Em países da Europa, onde a exploração foi exacerbada, projetos de leis protegem os bancos (Wilson *et al.*, 2004).

Apesar da vasta distribuição das algas calcárias, existem certos fatores ambientais que determinam a sua presença, que variam, conforme as populações. Dentre eles estão: temperatura, turbidez, salinidade, pH da água do mar, disponibilidade de nutrientes, irradiância, dessecação (para o caso das encrustantes) e soterramento (Wilson *et al.*, 2004).

Cada um desses parâmetros interfere de forma direta nos processos fisiológicos. Por exemplo: a turbidez da água do mar e a sedimentação dificultam a passagem dos raios de luz solar, interferindo diretamente na fotossíntese. A Irradiância tem papel fundamental nesse, alterando o ponto de saturação do fotossistema e fotoinibição (Wilson *et al.*, 2004).

Apesar de haver relatos da ocorrência de bancos de rodolitos em locais de baixa salinidade (Joubin, 1910), as espécies se comportam fotossinteticamente de maneiras diferentes, frente a salinidades diferentes (Wilson *et al.*, 2004). A dessecação se mostra um agravante para as espécies de algas calcárias. Quando secas e expostas ao sol, em uma hora algumas já podem mostrar sinais de morte (branqueamento do talo) (Littler, 1972).

Como já mencionado anteriormente, tanto pH quanto temperatura controlam de forma definitiva a presença de algas calcárias. O pH se mostra um fator determinante para elas, uma vez que condiciona o processo de calcificação das paredes celulares e a solubilidade de gases (Harley *et al.*, 2006).

Segundo Lobban & Harrison (1994), o carbonato de cálcio está presente extracelularmente, mas pode estar na superfície da parede celular, dentro de uma camada externa, ou entre células.

A presença do carbonato garante vantagens como o fornecimento de um esqueleto rígido, proteção contra predadores e ancoragem ao substrato (Foster *et al.*, 1997). Há quem defenda que a calcificação é um subproduto da

fotossíntese ou ainda potencializa esse processo, auxiliando no balanço de prótons (Nelson, 2009).

O processo de calcificação ainda está relacionado à absorção de nutrientes como fosfato, nitrato, nitrito, amônio, potássio, ferro e magnésio, todos ligados a mecanismos de exportação de prótons, especialmente sob condições de privação de nutrientes (Nelson, 2009).

Por fim, a temperatura, como antes mencionada, tem importante papel na fisiologia da fotossíntese. Segundo Brown *et al.* (2004) reações biológicas, taxas metabólicas e basicamente outros índices e taxas de atividades biológicas aumentam exponencialmente com a temperatura. Tal fato se justifica pela teoria da cinética química de Arrhenius, que garante que quanto mais se aumenta a temperatura em um sistema, mais se aumenta a energia de ativação. Para a maioria dos organismos, essa temperatura se mantém entre 0°C e 40°C, mas claramente ela varia de acordo com a filogenia e tolerância dos organismos (Brown, *et al.* 2004).

Prever as mudanças climáticas e assim, ambientais, não é fácil e muitas áreas da ciência tentam explicar o que acontecerá no futuro, baseadas no passado. Organismos marinhos que conseguem acumular elementos traço em seus esqueletos, como as algas calcárias, tem sido estudados a fim de se compreender melhor mudanças nos fatores ambientais e composicionais da água do mar (Hetzinger *et al.*, 2010). Essas algas mostram-se como um bom modelo como organismos arquivo, devido a sua distribuição, longevidade e fator de incremento de crescimento (Franz *et al.*, 2000; Hetzinger *et al.*, 2009).

Algumas espécies de algas calcárias tiveram suas eficiências fotossintéticas medidas em diferentes temperaturas, mostrando resultados diferentes com a variação do parâmetro, em diferentes pontos do globo (Roberts *et al.*, 2002; Wilson *et al.*, 2004).

Estudos que explorem a fisiologia, ecologia e metabolismo de organismos como as algas calcárias devem ser feitos, dão base para o

entendimento e esclarecimento das previsões feitas a respeito das consequências das mudanças climáticas globais nas comunidades marinhas.

## **1.2. Mudanças climáticas Globais**

As mudanças climáticas globais vêm sendo discutidas em todas as ramificações da academia. Das Ciências Humanas às Ciências Exatas, uma série de pensadores tenta entender a dinâmica dos acontecimentos que permeiam as causas e consequências dessas variações do clima no planeta. Surgem diversas propostas de medidas mitigatórias, que se baseiam em tópicos de governança, para conter os possíveis danos sociais e ambientais.

Segundo o quarto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC, 2007) “mudanças climáticas globais são aquelas que ocorrem no estado do clima, que podem ser identificadas (e quantificadas estatisticamente), por erros em médias ou variabilidades em suas propriedades, e que persistam por extenso período de tempo, por décadas ou mais. Se refere a qualquer mudança no clima, no decorrer do tempo, ou por variações naturais, ou por atividades humanas. Diferente da definição da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), também incluída no relatório do IPCC (2007), onde a mudança climática refere-se a mudanças no clima, causadas direta, ou indiretamente por ação humana, que altera a composição da atmosfera global e que está para além da variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis de tempo.”

Independente das definições, dentre as principais causas das mudanças climáticas globais estão: o aumento da emissão dos gases causadores do efeito estufa (como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e halocarbonetos) e o desmatamento (uma vez que o processo de fotossíntese de plantas vivas garante absorção de grande parte do CO<sub>2</sub> atmosférico) (IPCC, 2007).

Os possíveis impactos causados por elas atingem de forma diferente, as diversas porções do globo, tangendo áreas ambientais que interferem desde a provisão de alimentos à saúde pública. Se há previsão para aumento de produtividade agrícola em países de latitudes maiores, com o aumento da temperatura em até 2°C, alguns problemas respiratórios, entre outros, também aumentariam (IPCC, 2007).

Além do aumento da temperatura de 1,4 a 5,8°C nos próximos 90 anos, modelos apresentam aumento na frequência de eventos extremos como ciclones, tempestades e El Niño. Modificações no ciclo da água alteram o sistema de precipitação e abastecimento. Se há o aumento do aporte de chuvas em regiões tropicais, com tempestades, nas semi-áridas a escassez aumentará (IPCC, 2007).

Segundo Russel *et al.* (2009), as mudanças climáticas globais, combinadas com impactos locais, aceleram as consequências ecológicas negativas ao longo das áreas da costa. Em ambiente marinho, as alterações físicas e químicas que mudanças no clima trazem (geralmente causadas pelo aumento da temperatura), já geram consequências há alguns anos e a perspectiva é de que elas aumentem.

A crescente concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera faz com que se eleve o seqüestro do gás pelos oceanos. Estima-se que isso ocorra na proporção de um terço desse CO<sub>2</sub> disponível e a consequência de tal é uma redução do pH oceânico (Sabine *et al.*, 2004). Modelos predizem uma redução de 0,2-0,4 do pH oceânico para o próximo século (Caldeira & Wickett, 2005).

Pelo princípio químico de dissolução do CO<sub>2</sub>, temos a formação do íon carbonato CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, que por sua vez reage com o Ca<sup>2+</sup> disponível na água, formando CaCO<sub>3</sub>. Com a modificação do equilíbrio da concentração de CO<sub>2</sub>, há a diminuição do estado de saturação do carbonato de cálcio. (Martin *et al.*, 2008). Esse decréscimo afeta diretamente os organismos calcificadores, como corais, algas calcárias e foraminíferos (Kleypas *et al.*, 2006), uma vez que a



disponibilidade de diminuir assim como as condições para sua fixação passam a ser inadequadas.

O aumento da temperatura do globo gera, de formas diferentes, impactos nos oceanos e na atmosfera. No primeiro caso há um aumento no nível dos mares, causado por uma expansão térmica da água (de aproximadamente  $0,2 \pm 0,1$  mm por ano). Já no segundo caso, também há incremento do nível dos mares, porém causado pelo derretimento das geleiras continentais, como Groenlândia e Antártica, que de 1993 a 2003, contribuíram, respectivamente, com  $0,8 \pm 0,2$ mm por ano e  $0,21 \pm 0,35$ mm por ano (Domingues *et al.*, 2008).

O aumento da temperatura atmosférica causa também o redirecionamento da circulação de ar, que além de modificar o processo de ressurgência (e assim disponibilidade de nutrientes) (Russel, 2009; Bakun *et al.*, 2010), altera a frequência de tempestades e assim, o aporte de água doce que chega aos oceanos. Isto colabora para mudanças nas características físicas como salinidade, turbidez, assim como química resultado do carreamento de nutrientes e entre outros poluentes (Harley *et al.*, 2006).

Finalmente, o aumento da temperatura dos oceanos, por si só, gera efeitos ecológicos significativos. Além de ser fator determinante para a distribuição geográfica de organismos (Wilson *et al.*, 2004), perturbações extremas desse parâmetro abiótico causam mudanças metabólicas bruscas (Brown *et al.*, 2004), sendo esse um dos fatores responsáveis pelo branqueamento de corais (com a morte de dinoflagelados simbioses) (Baskett *et al.*, 2010), queda do sucesso reprodutivo e taxa de crescimento e de rendimento fotossintético de algas (Ichiki *et al.*, 2000; Wilson *et al.*, 2004; Steller *et al.*, 2007).

Uma vez que se espera uma perda de biodiversidade e extinção de espécies, em virtude das consequências das mudanças climáticas globais (IPCC, 2007) e ainda tendo em vista toda a vulnerabilidade do ambiente

marinho e dos organismos que nele estão, é de suma importância que se conheça os limites de tolerância dos organismos chaves que compõem e muitas vezes constroem tais ecossistemas.

### **1.3. Fisiologia da fotossíntese**

As moléculas de clorofila a presentes no fotossistema II (PSII) dos cloroplastos conseguem absorver a energia luminosa (fótons), alterando suas configurações eletrônicas. Porém, o estado excitado é muito instável e, a fim de recobrar o equilíbrio, então, há a dissipação de energia de três formas: dissipação química, fluorescência e dissipação não-fotoquímica.

A dissipação fotoquímica é caracterizada pela transferência de um elétron de uma molécula de água para um aceptor NADP (Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato). A energia dissipada pela seqüência de reações seguintes é responsável por reduzir o ADP (adenosina difosfato) em ATP (adenosina trifosfato), que posteriormente será utilizado na fração bioquímica da fotossíntese. Nesta segunda parte há a fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico (fig. 2)

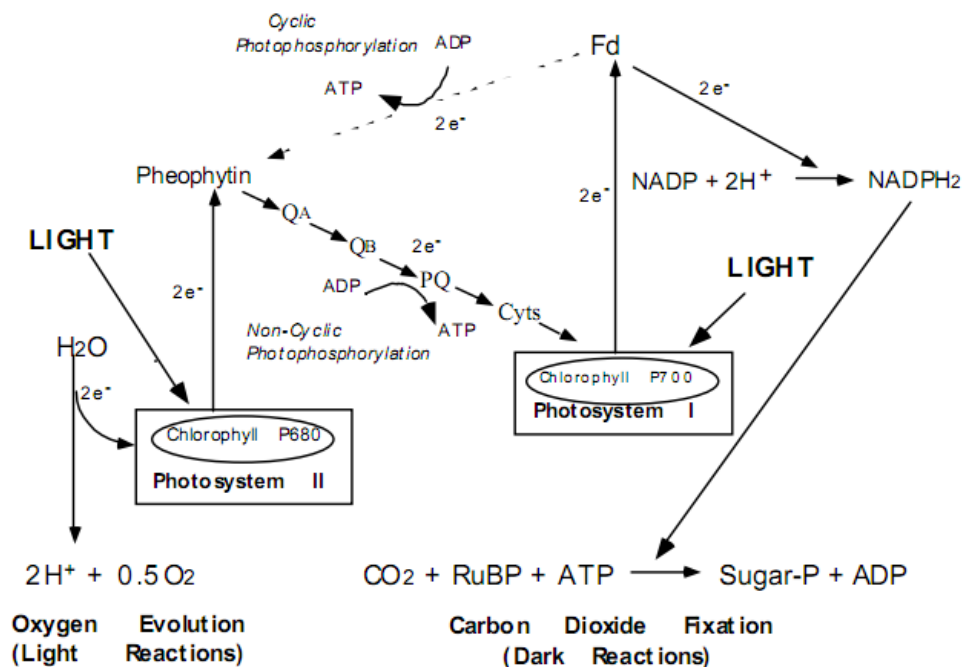


Fig. 2.: Esquema simplificado do processo fotossintético. Manual de instruções. Qubit System (Canadá).

A fluorescência, por sua vez, é a emissão de parte dessa energia sob forma de radiação na região do visível (vermelho e vermelho distante). E ela pode ser captada e mensurada, assim como a dissipação não-fotoquímica que é a produção de calor na forma de radiação infravermelha (Campostrini, 1997).

Assim, em relação a luz absorvida, o balanço:

$$\text{fotossíntese} + \text{fluorescência} + \text{calor} = 1$$

Uma forma útil, rápida, não-invasiva e extremamente sensível de se estudar os efeitos de variações ambientais, quantificando as taxas fotossintéticas e em fotoprodutores é medir a fluorescência da clorofila a do PSII (White & Critchley, 1998).

Estudos que contemplem não apenas a relação das espécies presentes, mas também o comportamento fisiológico de tais espécies em condições ambientais naturais e frente a modificações são a base para a discussão de políticas de conservação, planos de manejo e compreensão dos direcionamentos ecológicos após variações climáticas globais. Organismos chave para ecossistemas, como as algas calcárias, geralmente são priorizados nos trabalhos científicos.

Assim, o presente trabalho visa agregar conhecimento acerca da ecofisiologia do grupo das algas calcárias, relacionando-a com as mudanças climáticas globais, em especial à variação de temperatura. O estudo representa um dos primeiros esforços no sentido de se elucidar as respostas ecofisiológicas das algas calcárias do litoral sul do Brasil.

Considerando-se que rodolitos da espécie *Lithothamnion superpositum* Foslie (Corallinales, Rhodophyta) (Fig. 3) são cosmopolitas, havendo similaridade entre os espécimes encontrados no Brasil, na Austrália e África do Sul (Farias *et al.*, 2010) e ainda euritêrmicos, ou seja, distribuem-se por diferentes zonas de temperatura (Rio Grande do Norte, clima tropical, com altas temperaturas o ano todo e pouca variação sazonal, até Santa Catarina, com clima temperado quente, com grande variação de temperatura entre as estações do ano) (Farias *et al.*, 2010). Propõe-se a seguinte questão:

Qual será o efeito da variação da temperatura, na produção primária de rodolitos da espécie *Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta) (Fig. 3), presentes no banco de algas calcárias da Enseada do Rancho Norte (Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, SC)?



Fig. 3: Nódulo de *Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta), do Banco de rodolitos da REBIO Arvoredo, em Junho de 2010. Foto própria.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Avaliar eventuais modificações fisiológicas na alga calcária *Lithothamnion superpositum*, para quatro temperaturas diferentes.

### 2.2. Objetivos Específicos

2.2.1. avaliar a resposta fotossintética e seus respectivos parâmetros: eficiência fotossintética ( $\alpha$ ETR), fotossíntese máxima (Pmax), parâmetro de saturação (Ik) e fotoinibição ( $\beta$ ETR) dos rodolitos mantidos em quatro temperaturas diferentes (15°C, 20°C, 25°C e 30°C);

2.2.2. avaliar a concentração dos pigmentos Aloficocianina, Ficoeritrina, Ficocianina e clorofila dos rodolitos mantidos a 15°C, 20°C, 25°C e 30°C.

2.2.3. avaliar a diferença na concentração de Oxigênio dissolvido na água dos recipientes dos rodolitos cultivados a 15°C, 25°C e 35°C;

2.2.4. avaliar a diferença no pH da água dos recipientes dos rodolitos, cultivados a 15°C, 25°C e 35°C;

### **3. Material e Métodos**

#### **3.1. Caracterização da espécie *Lithothamnion superpositum***

*Lithothamnion superpositum* pertence à ordem Corallinales família Corallinaceae, Subfamília Melobesioidea. São plantas não geniculadas, com talos fruticosos ou crostosos, com protuberâncias evidentes. Não possuem conexões secundárias entre as células e os conceptáculos tetrasporangiais e os bisporangiais são multiporados, não apresentando columela (Woelkerling, 1988).

A espécie é referida para sul e leste da Austrália (Woelkerling 1996; Harvey *et al.*, 2003), África do Sul e Madeira (Keats *et al.*, 2000) e Brasil (Farias *et al.*, 2010), onde há evidências da presença da alga para os estados do Rio Grande do Norte, Bahia, São Paulo e Santa Catarina (possivelmente também a Paraíba) (Farias *et al.*, 2010).

No litoral nordestino a alga encontra-se em uma zona climática tropical quente e semi-árida, com verões secos (com temperatura média da superfície da água de 28,5°C) e invernos chuvosos (com temperatura média de 26,5°C). A salinidade é típica de ambientes tropicais e varia de 36 a 37%. (Testa & Bossence, 1999).

Devido ao grande aporte de água doce e à presença de correntes, há, em todo o litoral brasileiro, muita matéria e sedimentos em suspensão, principalmente nos períodos mais chuvosos (Testa & Boscence, 1999), o que diminui a irradiância disponível.

Já no litoral sul, a espécie em questão está presente na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (REBIO) que dista 11 km do Norte da Ilha de Santa Catarina e 7 km do continente a Oeste. Além disso, está sob coordenadas 27°09'30" a 27°17'57"S e 48°18'30" a 48°25'30"W.

Situada em uma zona de transição entre os climas tropical e subtropical, a região sofre de influência dos ventos NE e N durante o verão e SW e W durante o inverno (Wainer & Taschetto, 2006). A temperatura da água do mar varia de acordo com as estações do ano. Devido ao aquecimento sazonal e à convecção de massas de água, forma-se uma termoclina que deixa a temperatura do fundo abaixo de 18°C, enquanto que na superfície ela se mantém entre 25 e 27°C. Já durante o inverno, a homogeneidade das massas de águas costeiras mantém ambas as temperaturas (superfície e fundo) entre 20 e 23°C (Castro *et al.*, 2006).

Essa área está sob uma província oceanográfica caracterizada pela presença das Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) no verão e da Corrente das Malvinas no inverno (Castro & Miranda, 1998) e possui salinidade tendendo a ser mais baixa no verão, variando entre 34 e 36,4. Do ponto de vista da temperatura a ACAS, quando presente, produz sua redução a cerca de 15° C na água de fundo da Rebio do Arvoredo.

Na Ilha do Arvoredo, sob coordenadas 48°22' W; 27°17' S encontra-se a Enseada do Rancho Norte (Fig.4,5) que abriga um banco de rodolitos (Fig. 6).



Fig. 4 Enseada do Rancho Norte, Ilha do Arvoredo, REBIO do Arvoredo. Vista do barco em Junho de 2010. Foto própria.



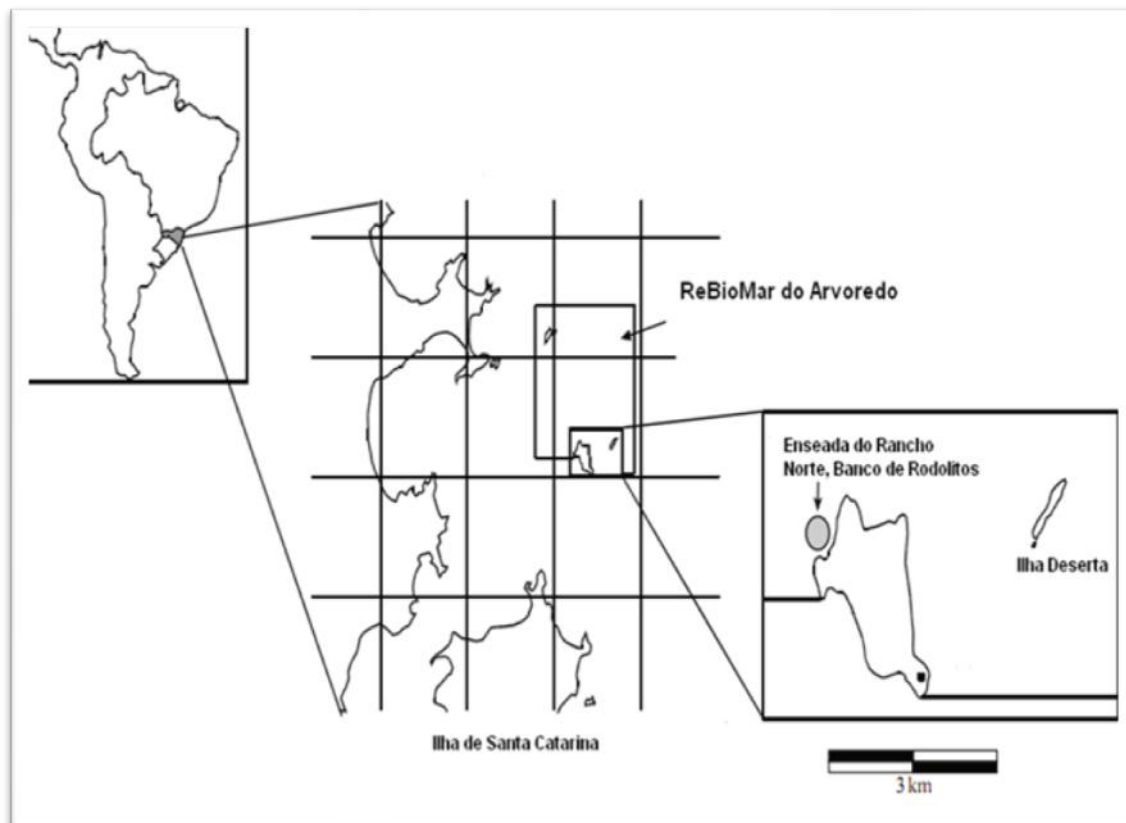


Fig. 5: Mapa da Reserva Marinha do Arvoredo. Em detalhe a Enseada do Rancho Norte, na Ilha do Arvoredo. Adaptado de Gherardi (2004)



Fig. 6: Vista geral do banco de Rodolitos da Enseada do Rancho Norte, Ilha do Arvoredo, REBIO do Arvoredo. Foto de Pascelli (2009).

Esse banco é o limite sul no Brasil, para formação de bancos de algas calcárias. Nele, diversas espécies formadoras de nódulos se concentram entre 5 e 20m de profundidade. O sedimento é classificado como arenoso e é composto de fragmentos de algas calcárias e de conchas. À medida que se aumenta a profundidade, o sedimento se torna mais fino e recobre os nódulos.

### **3.2. Coleta e Aclimação**

Os nódulos de similar diâmetro (5cm) de *Lithothamnion superpositum* foram coletados a 8m de profundidade na Enseada do Rancho Norte, por meio de mergulhos autônomos em Dezembro de 2009. Após serem cuidadosamente

limpos, foram colocados em recipientes individuais de 350ml, e mantidos em água do mar esterilizada. Nessa condição eles permaneceram em câmaras BOD por 24 horas, a 25°C com fotoperíodo 14:10 a 40  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de irradiância.

### 3.3. Fluorescência da Clorofila

Após a aclimação os nódulos foram separados em 4 grupos distintos, em câmaras BODs, com o mesmo fotoperíodo e irradiância descritos acima, calibradas nas temperaturas: 15°C, 20°C, 25°C e 30°C. As temperaturas foram escolhidas levando-se em consideração possíveis variações extremas em relação às médias ambientais e para cada uma foram utilizados 5 nódulos (n=5).

Para medir a fluorescência da Clorofila *a* do fotossistema II foi utilizado o Diving - PAM (Pulse Amplitude Modulation), fluorômetro que teve suas funções calibradas de acordo com a curva teste para a alga analisada (ganho: 9; intensidade: 8; damp: 2; intensidade de saturação: 8; curva de luz: 5). Com os valores obtidos foram estimados os seguintes parâmetros fotossintéticos: rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Phi$  PSII) e a taxa de transporte de elétrons relativa (rETR), onde  $rETR = \text{rendimento} \times PAR \times 0,5$ . Os pulsos foram fixados variando de 4 a 3202  $\mu\text{mol fótons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

A partir da rETR, com a equação  $F_{\text{max}}*[1-(\exp(-\alpha*(x-I_c)))]*\exp(\beta)$  de Platt *et al.* (1980) no programa Origin 6.0, foram calculados os seguintes parâmetros: eficiência fotossintética ( $\alpha ETR$ ),  $P_{\text{max}}$  (rETR<sub>max</sub>), parâmetro de saturação ( $I_k$ ) e fotoinibição ( $\beta ETR$ ).

### **3.4. Pigmentos**

As algas utilizadas para a medição da fluorescência da Clorofila *a* foram maceradas, após o último dia de experimento, em Nitrogênio Líquido. O pó foi solubilizado com tampão fosfato 50 mM (pH 5,5) e centrifugado por 25 minutos (36,000 g, 4°C). O sobrenadante foi extraído e dele foi estimada a concentração de Ficobiliproteínas (Aloficocianina, Ficoeritrina e Ficocianina) por leitura em espectrofotômetro. As concentrações foram calculadas de acordo com Kursar *et al.* (1983a). O pellet foi ressuspendido em acetona (90%) e centrifugado por 15 minutos (12,000g, 4°C). Do sobrenadante foi extraída Clorofila e sua concentração foi medida em espectrofotômetro e posteriormente calculada pela equação de Jeffrey & Humphrey (1975).

### **3.5. Produção de oxigênio e variação de pH**

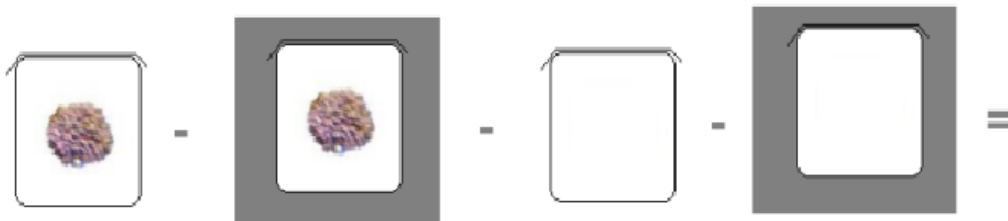
Para a medição da produção de Oxigênio e consumo de CO<sub>2</sub>, um novo conjunto de rodolitos foi incubado paralelamente, também em 3 câmaras BOD, com o mesmo fotoperíodo e irradiância descritos acima, calibradas em 3 temperaturas: 15°C, 25°C e 35°C. As concentrações de Oxigênio foram medidas utilizando o oxímetro da marca (WTW – Oxi 315i) e o pH pelo pHmetro WTW – pH 330i/SET). As variações de O<sub>2</sub> e pH foram calculadas segundo o método de Gaarder & Gran (1927).

Para entender o consumo de CO<sub>2</sub>, através da variação do pH, foi levado em consideração:

- 1) Recipiente com alga no claro: produção primária da água, respiração da alga, produção primária do fitoplancton e respiração do fitoplancton presente na água;
- 2) Recipiente com alga no escuro: não há produção primária da alga, mas há respiração da alga. Também não há produção primária do fitoplancton, mas há respiração do fitoplancton presente na água;

- 3) Recipiente sem alga no claro: não há produção primária da alga, nem respiração da alga, mas há produção primária do fitoplâncton e respiração do fitoplâncton presente na água;
- 4) Recipiente sem alga no escuro: não há produção primária da alga, respiração da alga, produção primária do fitoplâncton e respiração do fitoplâncton presente na água;

Considerando que quanto maior a concentração de  $\text{CO}_2$  na água, menor o pH (princípio da dissolução), para saber o quanto a presença da alga influencia no consumo de  $\text{CO}_2$  (que é fixado por ela), fazemos:



Consumo líquido do nódulo

Fig. 7: Esquema representativo do cálculo do consumo de  $\text{CO}_2$ , pela variação do pH do meio. Quadrados cinzas representam recipientes no escuro.

Por conta de ser uma subtração, e o consumo ser representado por um aumento no pH do meio, os valores apresentados devem ser negativos, caso haja real consumo por parte das algas, ou fotossíntese (embora essa alga também fixe o Carbono em forma de carbonato, essa porção não será considerada).

### 3.6. Análises Estatísticas

Todos os resultados obtidos tiveram a homogeneidade das variâncias avaliadas. Atendido este requisito, a ANOVA foi utilizada para testar as diferenças significativas das amostras. Quando as diferenças foram significativas, um teste *a posteriori* de Tukey foi realizado. As análises foram geradas utilizando-se o programa STATISTICA 7.0. A Análise Estatística Multivariada foi usada para descrever eventuais padrões do comportamento das rETRs nos diferentes tratamentos. A matriz de similaridade de Bray–Curtis foi calculada e utilizada para gerar um gráfico bi-dimensional do nMDS.. A homogeneidade dos grupamentos foram descritas com o auxílio do SIMPER e as significância das diferenças dos padrões não paramétricos foram testadas utilizando-se o ANOSIM. As análises multivariadas foram feitas através do programa PRIMER 6.0 (software package from Plymouth Marine Laboratory, UK).

## 4. RESULTADOS

As curvas de rETR evidenciam que, no primeiro dia de experimento, as algas não tiveram diferenças significativas em relação à taxa de transporte de elétrons. O decaimento da curva representa o momento fótico em que houve fotoinibição (Fig. 8).

A partir do segundo dia, percebe-se uma tendência das algas deixadas em diferentes temperaturas a se comportarem de maneiras diferentes. As de 15°C obtiveram fotoinibição antes das demais. Além disso, as rETRs, para mesmos pulsos de luz, foram mais baixas. Ainda nesse dia, o comportamento dos nódulos das temperaturas intermediárias (20 e 25°C) foi similar. Já os deixados a 30°C tiveram maior taxa de transporte de elétrons, fotoinibindo, porém, no mesmo momento que os das temperaturas intermediárias.

Até o final do experimento, as plantas deixadas a 15°C obtiveram os menores valores de rETR e ETR máxima e ainda, obtiveram decaimento da curva para menores valores de PAR (164  $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

O mesmo não ocorreu com as algas de 30°C. Se no começo do experimento elas tinham maiores rETRs, a partir do terceiro dia, as curvas ficaram menores em relação às temperaturas intermediárias, embora a fotoinibição não tenha acontecido antes (Fig.8).

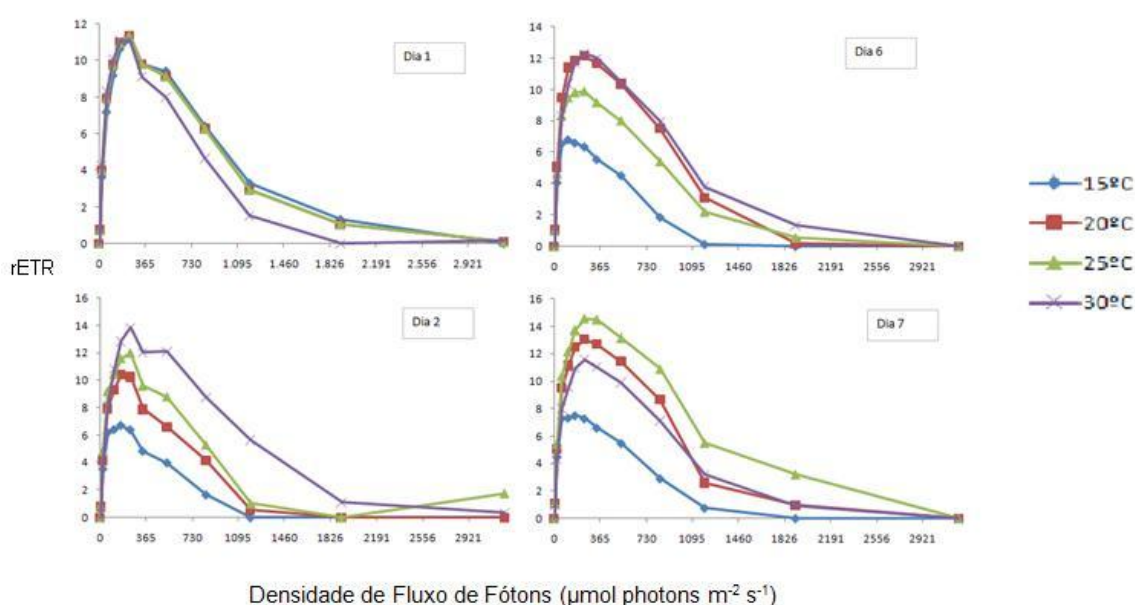


Fig. 8: curvas de rETR para Densidade de Fluxo de Fótons fornecido em PAR ( $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), para temperaturas testadas, ao decorrer do experimento (médias e erros, n=5).

De maneira geral, em relação às curvas de ETR, os rodolitos incubados a 20°C e 25°C mostraram uma maior taxa de transporte de elétrons em relação a cada PAR dado e uma maior ETR máxima. Além disso, a fotoinibição se deu sempre após 239  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Os parâmetros fotossintéticos gerados através da equação de Platt (1980) mostram que durante todo o experimento, as algas mantidas a 15°C obtiveram em média os menores valores de  $P_{\text{máx}}$  (fotossíntese máxima). Já para as algas mantidas nas outras temperaturas, não se observaram diferenças significativas em relação a esse parâmetro (Fig.9).

Para  $\alpha$ , observa-se a separação de dois grupos: o das temperaturas extremas (com menor eficiência fotossintética) e o das temperaturas intermediárias (com maior eficiência) (Fig.9).

Em relação à  $\beta$ , também existe a distribuição de dois grupos, porém, de composição distinta. O grupo da menor fotoinibição relativa possui as algas mantidas a 15°C, 25°C e 30°C e no de maior fotoinibição relativa, as de 25°C. Ou seja, os nódulos deixados no primeiro grupo fotoinibiram antes dos deixados a 25°C (Fig. 9).

Por fim, os valores de  $I_k$  mostram comportamentos distintos para três grupos de temperatura: menor valor para a menor temperatura, valores intermediários para as intermediárias e maior valor para a maior temperatura (Fig.9).



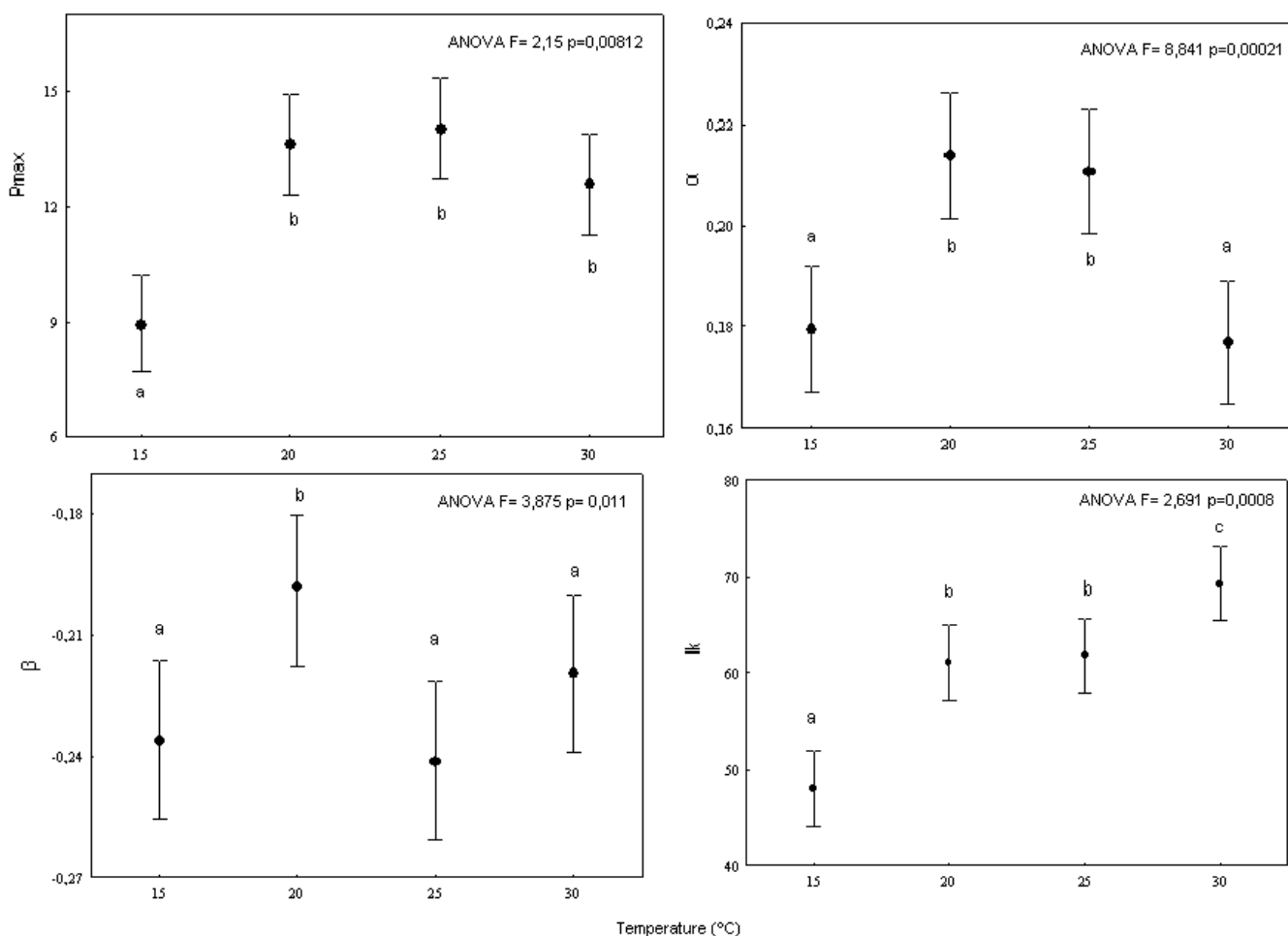


Fig. 9: Gráfico de  $P_{max}$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $I_k$ , para cada temperatura, durante o experimento (onde diferentes letras representam diferenças significativas baseado no teste a posteriori de Tukey).

A análise de pigmentos mostrou que para Aloficocianina, Ficocianina e Ficoeritrina as algas deixadas a 25°C obtiveram diferenças significativas, possuindo a maior concentração desses pigmentos. Já para clorofila, não houve diferença significativa entre as temperaturas. Porém, as algas mantidas nas temperaturas intermediárias obtiveram maior concentração (Tab.1).

Tabela 1: Concentração ( $\mu\text{g/ml}$ ) dos pigmentos de *Lithothamnion superpositum* ao final do experimento. X: Médias entre as amostras; E: Erro Padrão para as médias. AFC: Aloficocianina FC: Ficocianina; FE: Ficoeritrina; Ch: Clorofila (ANOVA mostra diferenças significativas entre as concentrações de pigmentos e temperaturas). A presença de \* significa que houve diferenças significantes baseadas no teste a posteriori de Tukey.

AFC		F=3,6958 p = 0,04	FC	F=4,7996 p = 0,02	FE	F=4,1818 p = 0,03	CH	F=3,57 p = 0,04
T	X	E	X	E	X	E	X	E
(°C)								
15	69,889	4,42	40,173	2,3	27,345	1,57	93,867	1,03
20	140,225	4,08	82,387	1,56	55,395	1,36	102,677	0,65
25	222,362*	9,62	99,678*	0,36	78,637*	3,17	102,677	1,06
30	8,214	0,39	22,078	0,29	8,373	0,16	78,365	0,91

A diferença na concentração de Oxigênio dissolvido entre as amostras e seus respectivos controles, evidencia que, para 15°C houve pequena produção de oxigênio e a 25°C houve significativa produção. Já para as algas mantidas a 35°C, houve consumo de  $\text{O}_2$  (Fig. 10). Da mesma forma, para a diferença do pH, as amostras a 15°C tiveram pequeno aumento do pH (ou diferença negativa) e as de 25°C tiveram grande aumento (ou seja, houve consumo de  $\text{CO}_2$ ). No entanto, para 35°C, não houve variação significativa no pH (Fig. 11).

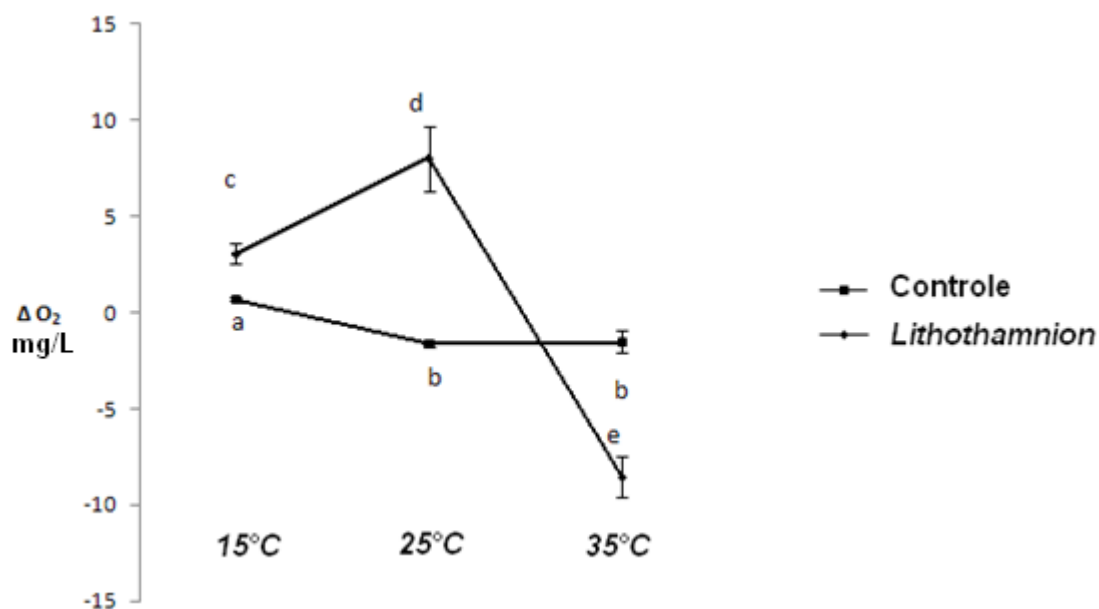


Fig. 10: Variação de  $O_2$  (mg/L) na água durante o experimento, para cada temperatura. Médias e Erros padrões para os recipientes contendo algas (*Lithothamnion*) (ANOVA  $F= 6,9502$   $p = 0.04157$ ) e média e erros para o controle (ANOVA  $F=2,3140$   $p=0,12052$ ). Letras diferentes representam diferenças significativas baseadas no teste a posteriori de Tukey.

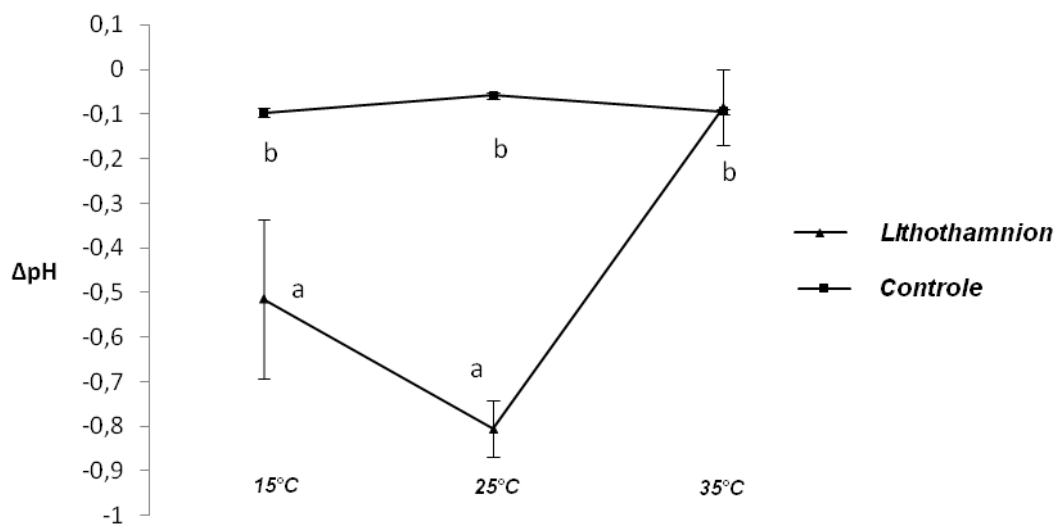


Fig. 11: Variação de pH na água durante o experimento, para cada temperatura. Médias e Erros padrões para os recipientes contendo algas (*Lithothamnion*) (ANOVA  $F= 9,10912$   $p = 0.000278$ ) e média e erros para o controle (ANOVA  $F=1,04667$   $p=0,355984$ ). Letras diferentes representam diferenças significativas baseadas no teste a posteriori de Tukey.

## 5. DISCUSSÃO

Fatores ambientais têm grande importância nas taxas fisiológicas das algas calcárias (Martin *et al.*, 2006). Além de determinante para a distribuição dessas algas (Foster, 2001), a temperatura é fator do qual dependem sua fotossíntese e respiração (Lüning, 1990). Mudanças abruptas de temperatura podem prover uma série de danos ao fotossistema, incluindo a fotoinibição. No entanto, um aumento progressivo eleva o estado de excitação das moléculas, otimizando as reações fotossintéticas (Davison, 1991).

Assim, a mudança de comportamento das curvas de rETR, a partir do segundo dia de experimento, mostra o começo da diferenciação da fotossíntese, devido à mudança de temperatura (Fig. 7). O decaimento das taxas de rETR para os nódulos mantidos a 15°C, sugere que algas adaptadas a temperaturas mais elevadas, têm um déficit na sua taxa de fotossíntese, quando a temperatura abaixa.

Os maiores índices de ETR das plantas deixadas às temperaturas mais elevadas (20°C, 25°C e 30°C) (Fig.7) pode ser explicado pelas maiores taxas de reações enzimáticas, principalmente as que estão envolvidas na redução do CO<sub>2</sub>, o que diretamente influencia a curva de ETR (Bautista & Necchi, 2007).

Ainda, de acordo com Bautista & Necchi (2007), águas frias e quentes podem representar um fator de stress para a fotossíntese, para a maioria das algas, aumentando os níveis de radicais livres. Compostos lipídicos oxidados podem reagir com proteínas intactas, causando dano à atividade enzimática (Yan *et al.*, 1998). Porém, embora a temperatura cause uma condição de stress, a fotoinibição para *L. superpositum* não foi diferente entre as plantas mantidas a 15°C, 25°C e 30°C.

Comparando, a produção de Oxigênio e variação de pH, podemos dizer que a 15°C houve pequena taxa de fotossíntese, embora o evento de respiração tenha sido mais significativo. Para 25°C houve fotossíntese

sobrepondo a respiração e a 35°C não houve fotossíntese, não sendo detectada efetiva produção de oxigênio.

Se considerarmos a produção de Oxigênio, a rETR e os maiores valores de Pmax, alfa, fotoinibição e saturação a maiores irradiâncias, os melhores resultados para resposta fotossintética foram obtidos pelas algas mantidas a temperaturas intermediárias (20°C e 25°C).

Corroborando com os nossos resultados, Steller *et al.* (2007) observou que para *Lithophyllum margaritae* (Heriot) Heydrich, mudanças na temperatura da água promoveram flutuações nos valores de Pmax e taxa de respiração. Maiores taxas fotossintéticas foram alcançadas para as algas incubadas a 25°e 30°C (embora, também tenha sido mais alto para as de 25°C) e menores para as deixadas entre 10°C e 20°C. Assim também o foi para os valores de Ik, que foram maiores para as maiores temperaturas. Ainda, as melhores condições para o crescimento das algas dessa espécie ocorreram a 25°C.

Ao se comparar os valores de Ik alcançados para outras Corallinales estudadas por Steller *et al.* (2007) e Chisolm (2003), *L. superpositum* apresentou valores mais baixos de fotoinibição, a irradiâncias mais baixas.

Assim como Roberts *et al.* (2002), Martin *et al.* (2006) observaram variações sazonais em relação as taxas fotossintéticas. *Lithothamnion corallioides* (P.L.Crouan & H.M.Crouan) P.L.Crouan & H.M.Crouan, obtiveram melhores taxas de calcificação, respiração e produção primária para quando a temperatura subia de 10°C para 16°C (Martin *et al.* 2006). Eles também encontraram valores de Ik maiores no verão (maior temperatura) que no inverno (menor temperatura), embora tal fato possa estar mais relacionado a irradiância a qual as algas são dispostas sazonalmente, do que a temperatura propriamente dita.

Wilson *et al.* (2004), entretanto, analisando variações sazonais de temperatura (de 9°C no inverno para 17°C no verão e aumento gradual até 40°C experimentalmente) para algas calcárias do gênero *Phymatolithon*,

coletadas no Atlântico Norte, não encontrou diferenças significantes nas taxas de ETR.

Algumas espécies não aclimatam com mudanças da temperatura ambiental. Para elas, mecanismos fisiológicos adicionais devem ser usados (por exemplo, absorção extra de nutrientes, crescimento e alocação de recursos) para ajustar o metabolismo da fotossíntese, e assim, poder tolerar as mudanças (Davison *et al.*, 1991). Segundo Saroussi & Beer (2007), para *Jania rubens* Linnaeus (Lamouroux) Stackhouse não houve correlação entre temperatura da água e parâmetros fotossintéticos. Já de acordo com Kübler (1993), para *Chondrus crispus* a fotoinibição foi mais severa quando a alga foi exposta a temperaturas mais baixas, que para as expostas a 30°C.

Em um curto período de tempo, o aumento na temperatura da água interferiu na concentração de todos os pigmentos de *Lithothamnion superpositum*, podendo ter influenciado na atividade enzimática dos complexos que mantêm a estrutura e o funcionamento das ficoeritrinas, aloficocianinas e ficocianinas. Essas mudanças são fatores de influência no processo fisiológico da fotossíntese a temperaturas extremas, como observado por Latham (2008), em experimentos realizados *Corallina officinalis* Linnaeus (Corallinales).

Por fim, Martin & Gattuso (2009) observaram que algas da espécie *Litophyllum cabiochae* Boudouresque & Verlaque quando expostas a temperaturas mais elevadas apresentaram sintomas de necrose e mortalidade. O mesmo foi observado para *Lithothamnion superpositum* deixados a 30°C. Ao final do experimento porções do talo se desprendiam e as algas mostravam sinais de morte.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissimilaridade entre as algas mantidas a 15°C e as demais sugere que esses espécimes tendem a ter uma maior fotoprodução em temperaturas

mais altas ( $>20^{\circ}\text{C}$ ), sugerindo uma tendência a tropicalidade da população. Porém, um aumento excessivo da temperatura danifica sua eficiência fotossintética (como comprovado para as algas a  $30^{\circ}\text{C}$ ). Assim, para *Lithothamnion superpositum* temperaturas intermediárias se mostram mais favoráveis para fotoprodução.

Ainda, quando expostas a condições diferentes de temperatura, as algas calcárias de uma região tropical bem definida modificam suas respostas fotossintéticas e, portanto, a produção primária. Frente a um aumento natural da temperatura da água do mar, a posição do banco de rodólitos pode mudar, ampliando o limite de sua distribuição mais ao sul.

Considerando-se uma alteração na produção primária, também haverá uma alteração no balanço de fornecimento de energia para os próximos níveis tróficos. Respostas individuais a mudanças climáticas, podem, segundo Walther *et al.* (2002), romper com suas interações com outros organismos no mesmo ou em níveis tróficos adjacentes. Ainda de acordo com o grupo, as assembleias de espécies em comunidades ecológicas refletem, não só as interações dos organismos entre si, mas também as relações desses organismos com o meio abiótico.

Pode-se esperar assim, que mudanças climáticas alterarão a composição de comunidades. Segundo Dillon *et al.* (2010), as taxas metabólicas de consumidores irão aumentar e assim com elas, as taxas de herbivoria e predação.

Assim, conhecer os processos metabólicos dos organismos determinantes para a estruturação de comunidades, como as algas calcárias, auxilia no desenvolvimento de medidas de conservação frente a mudanças climáticas globais.

## 7. CONCLUSÕES

-A melhor temperatura para uma melhor eficiência fotossintética da alga *Lithothamnion superpositum* é a de 25°C, de acordo com a curva de transporte de elétrons, a concentração de pigmentos e a produção de Oxigênio e o consumo de CO<sub>2</sub>;

- Apesar dos baixos valores de fotossíntese encontrados para as algas deixadas a 15°C, esse não é seu limite mínimo ótimo de temperatura, pois os nódulos não apresentaram sinais de morte;

-A 30°C a fotossíntese da alga analisada já apresenta comprometimento e de acordo com a variação da concentração de Oxigênio e pH, não há mais fotossíntese, apenas respiração.

## 8. REFERÊNCIAS

BAKUN, A., FIELD, D.B., REDONDO-RODRIGUEZ A. & WEEKS, C.J. **Greenhouse gas, upwelling-favorable winds, and the future of coastal ocean upwelling ecosystem.** Global Change Biology, 2010. 16, 1213–1228.

BARBERA C. **Conservation and management of northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds.** Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2003. 13, 565–576.

BASKETT M.L., NISBET, R.M., KAPPEL, C.V., MUMBY, P.J. & GAINES, S.D. **Conservation management approaches to protecting the capacity for corals to respond to climate change: a theoretical comparison.** Global Change Biology, 2010. 16, 1229–1246.

BASSO, D. **Adaptative strategies and convergent morphologies in some Mediterranean coralline algae. Autecology of elected fossil organisms:**



**Archievements and problems.** A. Cherchi (Ed). Boll. Soc. Paleont. Ital. Spec. Mucchi, Modena, 1996. 3, 1-8.

BAUTISTA, A.I.N. & NECCHI, O. **Photoacclimation in three species of freshwater red algae.** Brazilian Journal of Plant Physiology, 2007. 19 (1),23-34.

BJÖRK, M., MOHAMMED, S.M., BJÖRKLUND, M. & SEMESI, A. **Coralline algae, important coral-reef builders threatened by pollution.** Ambio, 1995. 24, 502-505.

BLAKE C. & MAGGS C.A. **Comparative growth rates and internal banding periodicity of maerl species (Corallinales, Rhodophyta) from northern Europe.** Phycologia, 2003. 42, 606–612.

BROWN, J. H., GILLOOLY, J.F., ALLEN, A.P., SAVAGE, V.M., & WEST, G.B. **Toward a metabolic theory of Ecology.** Ecology, 2004. 85(7), 1771–1789.

CALDEIRA, K. & WICKETT, M. E. **Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean.** Journal of Geophysics Research, 2005. 110.

CASTRO, B.M. & MIRANDA, L.B. **Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S.** In: Robinson AR, Brink KH (Eds.) In the sea, 1998. 209-249.

CASTRO FILHO, B.M., LORENZZETTI, J.A., SILVEIRA, I. C.A. & MIRANDA, L. B. **Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS).** In: Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B., Madureira, L.S.P. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil, 2006. 472pp .

CATIA M. DOMINGUES, JOHN A. CHURCH, NEIL J. WHITE, PETER J. GLECKLER, SUSAN E. WIJFFELS , PAUL M. BARKER & JEFF R. **Dunn Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise.** Nature, 2008.453, 1090-1094.

CHISHOLM, J.R.M., **Primary productivity of reef-building crustose coralline algae.** Limnology Oceanography, 2003. 48 (4), 1376-1387.

COMPOSTRINI, A. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas.** 1997. Disponível online no site: [www.uenf.br/downloads/ApostiladeFluorescencia.pdf](http://www.uenf.br/downloads/ApostiladeFluorescencia.pdf). consultado no dia 23 de Abril de 2008.

DAVISON, I.R., GREENE, R.M. & PODOLAK, E. J. **Temperature acclimation of respiration and photosynthesis in the brown alga *Laminaria saccharina*.** Marine Biology, 1991. 110, 449-445.

DOMINGUES, C.M., Church, J.A, White, N.J., Gleckler, P. J., Wijffels, S.E., Barker, P.M. & Dunn, J.R. **Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise.** Nature, 2008. 453, 1090- 1094.

DILLON, M.E, WANG, G. & HUEY, R.B. Global metabolic impacts of recent climate warming. Nature, 2010. 467, 704-707.

FARIAS, J. DN., RIOSMENA-RODRIGUEZ, R., BOUZON, Z., OLIVEIRA, E.C. & HORTA, P.A., ***Lithothamnion superpositum* (Corallinales; Rhodophyta): First description for the Western Atlantic or rediscovery of a species?** Phycological Research, 2010.58, 210-216.

FOSTER M. S., RIOSMENA-RODRIGUEZ, R. STELLER, D.L. & WOELKERLING, W.J. **Living rodolith beds in the Gulf of California and their implications for paleoenvironmental interpretation.** In Johson, M.E. & Ledesmania\_Vasquez, J. [Eds.] Pliocene Carbonates and Related Facies Flanking the Gulf of California, Baja California, Mexico, Geological Society of America Special Paper 318 Geological Society of America, Boulder, CO, 1997. 127-139.

FOSTER M.S. **Rhodoliths: between rocks and soft places.** Journal of Phycology, 2001. 37, 659–667.

FOSTER, M.S. MCCONNICO, L.M., LUNDSTEN, L., WADSWORTH, T., KIMBALL, T., BROOKS, L.B., MEDINA-LÓPEZ, M., RIOSMENA-RODRIGUEZ, HERNÁNDEZ-CARMONA, G., VÁSQUEZ-ELIZONDO, R.M., JOHNSON, S. & STELLER, D.L. **Diversity and natural history of a *Lithothamnion muelleri*-*Sargassum horridum* community in the Gulf of California.** Ciencias Marinas, 2007. 33(4), 367–384.

FRANTZ, B.R. & KASHGARIAN, M. **Growth rate and potential climate record from a rhodolith using  $^{14}\text{C}$  accelerator mass spectrometry.** Limnology Oceanography 2009. 45(8), 1773–1777.

GAAEDER, T. & GRAN, H.H. **Investigations of the production of plancton in the Oslo Fjord.** Rapp. Et Proc. – Vrb., Cons. Int. Explor. Mer, 1927. **42**, 1-48.

GHERARDI, D.F.M. **Community structure and carbonate production of a temperate rhodolith bank from Arvoredo Island, Southern Brazil.** Brazilian Journal of Oceanography, 2004. 52, 207–224.

HARLEY, C. D. G., HUGHES, A. R., HULTGREN, K.M., MINER, B.G., SORTE, C.J.B., THOMBER, C.S., RODRIGUEZ, L.F. & WILLIAMS, S.L. **The impacts of climate change in coastal marine systems.** Ecology Letters Review and Synthesis, 2006. 9, 228–241.

HARVEY, A.S. & WOELKERLING, W.J. **Guía para la identificación de rodolitos de algas rojas coralinas no geniculadas (Corallinales, Rhodophyta).** Ciencias Marinas, 2007. 33, 411- 426.

HETZINGER, S., HALFAR, J., KRONZ, A., STENECK, R.S., ADEY, W., LEBEDNIK, P.A. & SCHÖNE, B.R. **High-resolution mg/ca Ratios in a Coralline red alga as a proxy for bering sea temperature variations from 1902 to 1967.** Palaios, 2009. 24, 406–412.

HETZINGER, S., HALFAR, J., ZACK, T., GAMBOA, G, JACOB, D.E., KUNZ, B.E., KRONZ, A., ADEY, W., LEBEDNIK, P.A. & STENECK, R.S. **High-resolution analysis of trace elements in crustose coralline algae from the North Atlantic and North Pacific by laser ablation ICP-MS.** Palaeography, Palaeoclimatology Palaeoecology, 2010. 3, 1-14.

HARVEY, A. S., WOELKERLING, W. J. & MILLAR, A. J. K. **An account of Hapalidiaceae (Corallinales, Rhodophyta) in south-eastern Australia.** Australian Systematic Botany, 2003. 16: 647–98.

HORTA P.A. **Bases para identificação das coralináceas não articuladas do litoral brasileiro - uma síntese do conhecimento.** Biotemas, 2002. 15, 7–44.

ICHIKI, S, MIZUTA H. & YAMAMOTO, H. **Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline alga *Lithophyllum yessoense* Foslíe (Corallinales, Rhodophyceae).** Phycological Research, 2000. 48, 115–120.

IPCC Fourth Assessment Report. Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Adopted section by section at IPCC Plenary XXVII, Valencia, Spain, 12-17 November 2007. 1-52.

JAMES H. BROWN, JAMES F. GILLOOLY, ANDREW P. ALLEN, VAN M. SAVAGE & GEOFFREY B. WESTTOWARD. **A metabolic theory of ecology.** Ecology, 2004. 85(7), 1771–1789.

JEFFREY, S.W. & HUMPHREY, G.F. **New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c and c in higher plants, algae and natural phytoplankton.** Biochemie und Physiologie der Pflanzen, 1975. 167, 191–194.

JOHANSEN, H. W. **Coralline Algae, a First Synthesis.** CRC Press, Inc., Florida, 1981. 135–157pp.

JOUBIN, L. **Recherches sur la distribution oceanographique des vegetaux marins dans la region de Rosco.** Annales de l'Institut Oceanographique de Monaco, 1910. 1, 1–17.

KEATS, D. W., MANEVELDT, G. & CHAMBERLAIN, Y. M. 2000. ***Lithothamnion superpositum* Foslíe: a common crustose red alga (Corallinales) in South Africa.** Cryptogamy Algology, 2000.21, 381–400.

KLEYPAS, J. A., FEELY, R. A., FABRY, V. J., LANGDON, C., SABINE, C. L. & ROBBINS, L. L. **Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: a guide for future research.** Report of a Workshop held 18–20 April 2005, St Petersburg, FL. 2006.

- KÜBLER, J.E. & DAVISON, I.R. **High-temperature tolerance of photosynthesis in the red alga *Chondrus crispus***. Marine Biology, 1993. 117 (2), 327-335.
- KURSAR, T.A.; VAN DER MEER, J.P. & ALBERTE, R.S. **Light-harvesting system of the red alga *Gracilaria tikvahiae*. I. Biochemical analyses of pigment mutations**. Plant Physiology, 1983. 73, 353-360.
- LATHAM, H. **Temperature stress-induced bleaching of the coralline alga *Corallina officinalis*: a role for the enzyme bromoperoxidase**. Bioscience Horizon, 2008. 1 (2), 104-113.
- LITTLER, M.M. **The crustose Corallinaceae**. Oceanography Marine Biology. Annuals Review, 1972. 10, 311-347.
- LITTLER M.M., LITTLER D.S., BLAIR S.M. & NORRIS J.N. **Deepest known plant life discovered on an uncharted seamount**. Science, 1985. 227, 57–59.
- LOBBAN, C.S. & HARRISON, P.J. **Seaweed ecology and physiology**. Cambridge University Press, 1994. 366 pp.
- LÜNING, K. **Seaweeds. Their Environment, Biogeography and Ecophysiology**. Wiley Interscience, London, 1990, 527 pp.
- MARTIN, S., CASTETS, M.D. & CLAVIER, J., **Primary production, respiration and calcification of the temperate free-living coralline alga *Lithothamnion corallioides***. Aquatic Botany, 2006. 85, 121–128.
- MARTIN, S., RODOLFO-METALPA, R., RANSOME, E. ROWLEY, S., BUIA, M-C., GATTUSO, J-P. & HALL-SPENCER, J. **Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts**. Global Change Biology, Biology letters, 2008. 1- 4.
- MARTIN, S. & GATTUSO, J.P. **Response of Mediterranean coralline algae to ocean acidification and elevated temperature**. Global Change Biology, 2009. 15(8), 2089-2100.
- NELSON, W.A. **Calcified macroalgae—critical to coastal ecosystems and vulnerable to change: A review**. Marine and Freshwater Research, 2009. 60(8), 787–801.

PLATT, T., GALLEGOS C.L. & HARRISON, W. G. **Photoinhibition of Photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton.** Journal of Marine Research, 1980. 38(4), 687-701.

ROBERTS, R.D., K€ ULH, M., GLUD, R.N., RYSGAARD, S. **Primary production of crustose coralline red algae in a high Arctic Fjord.** Journal of Phycology, 2002. 38, 273–283.

RUSSELL B. D., THOMPSON, J.I., FALKENBERG, L.J. & CONNEL S.D. **Synergistic effects of climate change and local stressors: CO<sub>2</sub> and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats.** Global Change Biology, 2009. 15, 2153-2162.

SABINE, C. L., FEELY, R. A., GRUBER, N., KEY, R. M., LEE, K., BULLISTER, J. L., WANNINKHOF, R., WONG, C. S., WALLACE, D. W. R., TILBROOK, B., MILLERO, F. J., PENG, T. -H., KOZYR, A., ONO, T. & RIOS, A. F. **The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>.** Science, 2004. 305, 367–371.

SAROUSSI, S. & BEER, S., **Acclimations of macroalgae as reflected in photosynthetic parameters derived from PAM fluorometry, and possible implications for abundance patterns.** Marine Ecology, 2007. 3, 377-383.

SIESSER, W. G. **Relict algal nodules (rhodoliths) from the South African continental shelf.** Journal of Geology, 1972. 80, 611-616.

STELLER D.L., RIOSMENA-RODRIIGUEZ R., FOSTER M.S. & ROBERTS C.A. **Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of disturbance.** Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2003. 13, 5–20.

STELLER, D.L., HERNÁNDEZ-AYÓN, J.M. & CABELLO-PASINI, A. **Effect of temperature on photosynthesis, growth and calcification rates of the free-living coralline alga *Lithophyllum margaritae*.** Ciencias Marinas, 2007. 33(4), 441–456.

STENECK, R. S. **The ecology of coralline algal crusts: convergent patterns and adaptative strategies.** Annuals Review Ecological Systems, 1986. 17, 273–303.

TESTA, V. & BOSCH, D.W.J. **Physical and biological controls on the formation of carbonate and siliciclastic bedforms on the north-east Brazilian shelf.** Sedimentology, 1999. 46, 279-301.

WAINER, I. & TASCHETTO, A.S. **Climatologia entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS), diagnósticos para os períodos relativos aos levantamentos pesqueiros do programa REVIZEE.** In: Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B., Madureira, L.S.P. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil. 2006. 472pp.

WALTHER, G-R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESANK, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J-M., HOEGH-GULDBERG, O. & BAIRLEIN, F. **Ecological responses to recent climate change.** Nature, 2002. 416, 389-385.

WHITE, A.J. & CHRISTA, C. **Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus.** Photosynthesis Research, 1999. 59: 63–72.

WILSON, S., BLAKE, C., BERGES, J.A. & MAGGS, C.A. **Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European Marine conservation.** Biological Conservation, 2004. 120, 279–289.

WOELKERLING, W.J. **The Coralline red algae: an analysis of the genera and subfamilies of nongeniculate Corallinaceae.** Oxford University Press, 1988. 268 pp.

WOELKERLING, W. J. **Subfamily melobesioideae.** In Womersley, H. B. S. (Ed.) The Marine Benthic Flora of Southern Australia, Part IIIB. Gracilariales, Rhodymeniales, Corallinales and Bonnemaisoniales. Australian Biological Resources Study, Canberra, 1996.pp. 164–210.

YAN, X., NEGATA, T. & FAN, X. **Antioxidative activities in some common seaweeds.** Plant Foods for Human Nutrition, 1998. 52, 253–262.

(<http://www.turfa.com.br/lithothamnium.html>)

## ANEXOS

### Anexo I: Resumo da apresentação oral em Workshop de Mudanças Climáticas e a Botânica, UFSC – 2010

#### Efeito da Temperatura na fotossíntese de *Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta) – subsídios para entender o efeito das mudanças climáticas em bancos de rodolitos

Sanches, P.F.<sup>1</sup>, Farias, J.N.<sup>1</sup>, Martins, A.P.<sup>2</sup>, Colepicolo, P.<sup>2</sup>, Horta, P.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratório de Ficologia, Departamento de Botânica, CCB, UFSC. Florianópolis - SC, Brasil. Cep: 88010-970. <sup>2</sup>Departamento de Bioquímica, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Corresponding author: Paola Franzan Sanches Tel: (48) 37218537 Fax: (48) 37219672

e-mail: [paolafsanches@gmail.com](mailto:paolafsanches@gmail.com)

#### Resumo

As mudanças climáticas e suas conseqüências, com possíveis variações na temperatura promovem alterações fisiológicas alterando o comportamento respiratório e fotossintético e, assim as taxas de crescimento destes organismos. Nas algas calcárias os efeitos são potencialmente ainda mais preocupantes, pois além de serem organismos chaves para o ambiente marinho, estão intimamente relacionadas ao ciclo do carbono. O presente trabalho verificou mudanças na resposta fotossintética de *Lithothamnion heteromorphum* (Corallinales, Rhodophyta) relacionadas à variação de temperatura. Assim, espécimes trazidos da Rebio do Arvoredo (22° C) foram incubados por 24h, a 15°C, 20°C, 25°C e 30°C. Por 7 dias consecutivos as taxas de transferência de elétrons (ETR) e a fluorescência da clorofila a do fotossistema II foram aferidos com o PAM. Também foram observados o balanço de oxigênio dissolvido e pH mantendo as plantas e controles no claro e escuro. Após esse tempo, foram extraídos os pigmentos. Os resultados mostram que as plantas mantidas a 20, 25 e 30°C, tiveram pouca diferença em relação à P<sub>máx</sub>, I<sub>k</sub> e à  $\beta$ . Em relação à  $\alpha$  não houve diferença significativa entre elas. Pode-se sugerir que as melhores temperaturas são as mais altas, encontradas nas regiões tropicais, que também obteve melhor concentração de clorofila 95,938µg/g ( $\pm 0,57$ ).

Palavras- chave: mudanças de temperatura, fotossíntese, *Lithothamnion*, rodolitos, mudanças globais



**ANEXO II: Resumo apresentado na Reunião sobre Bioativos de Algas, Ilhabela, 2009**

**ECOFISIOLOGIA DE RODOLITO *LITHOTHAMNION SUPERPOSITUM* (CORALLINALES, RHODOPHYTA)- CONHECIMENTO NECESSÁRIO PARA SUA UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL E CONSERVAÇÃO**

Sanches, P.F.<sup>1</sup>, Farias, J.N.<sup>1</sup>, Martins, P.A.<sup>2</sup>, Almeida, J.V.<sup>2</sup>, Colepicolo, P.<sup>2</sup>, Horta, P.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratório de Ficologia, Departamento de Botânica, CCB, UFSC. Florianópolis - SC, Brasil. Cep: 88010-970. <sup>2</sup>Departamento de Bioquímica, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Os bancos de algas calcárias são essenciais para a manutenção da diversidade, representando substrato para fauna e flora associada. Além disso, têm fundamental importância no ciclo do carbono já que são extremamente abundantes e 90% de sua massa ser composta de carbonatos. Essa característica faz com que elas sejam muito exploradas, uma vez que o carbonato é usado como antiácido estomacal e antireumático, na fitoterapia e também na indústria de cimento e na agricultura, como corretor de solo. Sabe-se que essa exploração não é sustentável, tendo em vista a baixíssima taxa de crescimento desses organismos. O presente trabalho, que representa o início dos trabalhos sobre a ecofisiologia de Corallinales no sul do Brasil, teve como objetivo verificar mudanças na resposta fotossintética e concentração de clorofila de *Lithothamnion superpositum* (Corallinales, Rhodophyta), alga dominante no banco de rodolitos do sul do Brasil, relacionadas à variação de temperatura, subsidiando eventuais ações de manejo ou mesmo cultivo. Espécimes coletados na Ilha do Arvoredo (22° C) foram incubadas por 24h, a 15°C, 20°C, 25°C e 30°C com fotoperíodo de 14h de luz. Por 7 dias consecutivos as taxas de transferência de elétrons (ETR) e os rendimentos de fluorescência da clorofila a do fotossistema II foram aferidos utilizando-se o Diving-PAM. Após esse tempo, foram extraídos os pigmentos. Os resultados mostraram que as plantas mantidas a 20, 25 e 30°C, tiveram pouca diferença em relação à  $P_{máx}$  = 10,48 ( $\pm$ 1,46), ao  $I_k$  = 50,22 ( $\pm$ 1,28) e à  $\beta$  = -0,21 ( $\pm$ 0,02). Em relação à  $\alpha$  não houve diferença significativa entre as 4 temperaturas. Pode-se sugerir que as melhores temperaturas para a alga são as mais altas, encontradas nas regiões tropicais, que também obteve melhor concentração de clorofila 95,938  $\mu$ g/g ( $\pm$ 0,57).